

FABRIKASI *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) TERANGKAI SERI/PARALEL PADA FRAKSI VOLUME DAN UKURAN PARTIKEL TiO_2 ANATASE/RUTILE OPTIMUM

Albertus Randy, Doty Dewi Risanti, dan Detak Yan Pratama
Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
e-mail: randy_albertus@yahoo.com

Abstrak— *DSSC yang dirangkai secara kombinasi seri dan paralel adalah salah satu cara untuk meningkatkan efisiensinya. TiO_2 dengan fraksi volume anatase-rutile 90%-10% dengan ukuran partikel optimum digunakan sebagai semikonduktor oksida DSSC ini. Metode co-precipitation dengan kalsinasi 400°C digunakan untuk mendapatkan fase anatase, mendapatkan ukuran partikel dengan rentang 10,062 nm sampai 24,068 nm, dan metode mineralisasi dengan kalsinasi 700°C untuk fase rutile, mendapatkan ukuran partikel 161,13 nm. Penelitian ini menggunakan pewarna alami anthocyanine dari kulit manggis diekstrak menggunakan ethanol pada magnetic stirrer. Dari hasil uji kurva I-V dibawah sinar matahari langsung, DSSC tunggal F yang mendapatkan efisiensi tertinggi sebesar 0,00786% dengan luxmeter sebagai alat ukur daya matahari dan 0,00542% dengan pyranometer. Sedangkan untuk rangkaian DSSC, efisiensi tertinggi sebesar 0,00639% dengan luxmeter pada rangkaian 8.*

Kata kunci: DSSC, anatase, rutile, rangkaian seri-paralel.

I. PENDAHULUAN

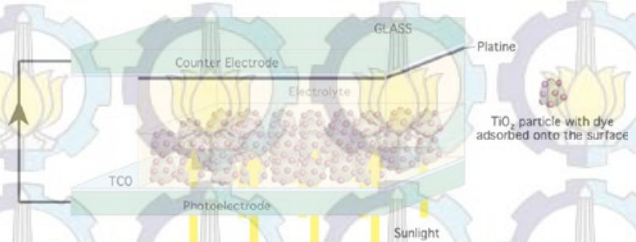
Pembuatan DSSC atau jenis sel surya yang tersensitisasi ini tergolong lebih mudah dan lebih murah daripada sel surya konvensional. Dan juga DSSC menggunakan pewarna (dye) organik, sehingga lebih ramah lingkungan. Serta sediaan bahan untuk ekstraksi pewarna sangat melimpah di Indonesia karena keanekaragaman hayati yang cukup besar.

DSSC tersusun dari beberapa komponen antara lain, semikonduktor oksida, lapisan pewarna, elektroda lawan, dan elektrolit. Salah satu cara meningkatkan nilai efisiensi DSSC adalah pada penggunaan semikonduktor oksidanya. TiO_2 merupakan salah satu semikonduktor oksida yang dianggap paling baik efisiensinya di antara semikonduktor lain seperti ZnO , SnO_2 , In_2O_3 , Nb_2O_3 , dan semikonduktor lainnya [1]. Struktur kristal TiO_2 secara umum dibagi menjadi tiga fase yaitu rutile (tetragonal, space group $\text{P4}_2/\text{mm}$, $E_g \sim 3,05$ eV), brookite (orthorhombic, Pcab , $E_g \sim 3,26$ eV), dan anatase (tetragonal, $141/\text{amd}$, $E_g \sim 3,23$ eV). Di antara tiga fase tersebut, rutile adalah fase yang stabil secara termodinamik dan pita celahnya sesuai dengan penyerapan spektrum cahaya matahari. Sedangkan anatase memiliki konduktivitas listrik yang lebih tinggi, maka dari itu fase ini lebih sering digunakan pada DSSC. Fotoanoda nanopartikel ini memiliki kemampuan mengadsorpsi pewarna yang lebih banyak dan koefisien difusi elektronnya juga lebih tinggi dibandingkan fotoanoda nanopartikel rutile. Selain itu, pita konduksinya lebih tinggi 0,1 eV dari fase rutile sehingga nilai maksimum voltase open circuit nya juga lebih besar [1]. Serta sifat fotokatalis dan

fotoaktif pada anatase lebih tinggi daripada rutile. Sedangkan fase brookite sulit untuk dipreparasi sehingga tidak digunakan pada DSSC.

DSSC adalah sebuah divais pengubah energi foton menjadi energi listrik. Menggunakan semikonduktor oksida sebagai bagian utama dari DSSC, salah satu sel surya tahap perkembangan ini juga memanfaatkan adsorpsi pewarna tertentu untuk meningkatkan rentang serapan cahaya matahari.

Pada gambar 2.3 adalah komponen DSSC yang secara umum tersusun atas lima bagian utama, yaitu media sel kaca *Transparent Conductive Oxides* (TCO), lapisan semikonduktor oksida, biasanya TiO_2 , pewarna jenis *anthocyanine* yang diadsorbsikan pada permukaan semikonduktor, elektrolit sebagai media redoks, dan elektroda lawan dengan katalis platina atau karbon.



Gambar 1. Komponen utama DSSC (Nazeeruddin, dkk., 2011)

Pada studi terdahulu, fabrikasi DSSC dengan anoda TiO_2 tersensitisasi pewarna alami telah direalisasikan dengan efisiensi yang cukup baik. Modifikasi jumlah lapisan anoda TiO_2 [2] dan variasi fraksi volume *anatase/rutile* [3,4] telah dilakukan sebagai langkah optimasi struktur anoda untuk DSSC. Berdasarkan hasil yang diperoleh, DSSC menggunakan fotoanoda TiO_2 dengan fraksi volume *anatase/rutile* sebesar 90%:10% menghasilkan efisiensi yang terbesar. Namun demikian, hasil tersebut diperoleh untuk satu sel tunggal DSSC. Pada umumnya, performansi DSSC dalam bentuk modul rangkaian sel surya akan mengalami penurunan dibandingkan performansi sel tunggal karena rugi-rugi Ohmik dari susunan setiap sel. Pada fabrikasi DSSC dalam bentuk modul, setiap sel akan dihubungkan secara seri dan paralel membentuk matrik sel surya. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dilakukan fabrikasi DSSC yang disusun dengan konfigurasi seri dan paralel tertentu menggunakan fotoanoda TiO_2 optimum berdasarkan penelitian sebelumnya.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Ekstraksi Pewarna Kulit Manggis

Pewarna alami dari 200 gram bubuk kulit manggis diekstrak menggunakan *magnetic stirrer*. Menggunakan (ethanol 96%) sebagai pelarut, diaduk pada suhu 60 °C dengan kecepatan adukan konstan selama 1 jam.

B. Sintesis TiO₂ dengan Metode Co-Precipitation untuk Anatase dan Mineralisasi untuk Rutile

Untuk anatase, sebanyak 10 ml TiCl₃ dicampur dengan 4,7 ml aquades dan 0,3 ml HCl 37 % diaduk dengan kecepatan konstan menggunakan magnetic stirrer selama 3 menit pada temperatur 45°C. Kemudian ditambahkan HCl 37 % sebanyak 20 ml dengan posisi terus diaduk. Setelah larutan berwarna ungu encer kemudian ditambahkan NH₄OH 25% JT Baker sebanyak 50 ml dan terus diaduk hingga mulai berwarna putih jenuh. Selanjutnya proses dapat dihentikan dan larutan tersebut dibiarkan hingga mengendap. Setelah mengendap, endapan dan larutan NH₄OH dipisahkan, kemudian endapan dicuci dengan aquades sampai larutan NH₄OH benar-benar hilang. Selanjutnya endapan dikalsinasi pada suhu 400°C selama 4 jam. Setelah TiO₂ dikalsinasi, kemudian dihaluskan menggunakan mortar sampai teksturnya halus.

Untuk rutile, 2 ml TiCl₃ dicampur dengan 98 ml aquades. Kemudian ditambahkan 11,7 gram NaCl dan 188,3 ml aquades, diaduk dengan kecepatan konstan selama 30 menit dengan magnetic stirrer di atas hotplate dengan suhu 45 °C. Kemudian dimasukkan ke dalam oven selama 5 jam dengan suhu 200 °C. Lalu dikeluarkan dari oven, diberi NH₄OH 25% JT Baker sebanyak 200 ml diaduk dengan kecepatan konstan dengan magnetic stirrer di atas hotplate dengan suhu 45 °C sampai berwarna putih jenuh. Selanjutnya proses dapat dihentikan dan larutan tersebut dibiarkan hingga mengendap. Setelah mengendap, endapan dan larutan NH₄OH dipisahkan, kemudian endapan dicuci dengan aquades sampai larutan NH₄OH benar-benar hilang. Selanjutnya endapan dikalsinasi pada suhu 700 °C selama 4 jam. Setelah TiO₂ dikalsinasi, kemudian dihaluskan menggunakan mortar sampai teksturnya halus.

C. Pelapisan TiO₂ pada Kaca TCO dan Perendamannya di dalam Pewarna Alami

Metode pelapisan TiO₂ pada kaca TCO menggunakan metode *doctor blade*. Pelapisan menggunakan fraksi volume 90%:10%. Selanjutnya disintering pada suhu 225 °C selama 2 menit, lalu direndam pada pewarna selama 12 jam.

D. Karakterisasi Serbuk TiO₂

Serbuk TiO₂ dikarakterisasi menggunakan XRD (Philips X'pert MPD menggunakan Cu-Kα dengan panjang gelombang 0,154 nm), dari pengujian XRD didapatkan ukuran partikel dan fase yang terbentuk. Untuk mengetahui ukuran partikel menggunakan persamaan Scherrer.

$$D = \frac{0.89\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Dimana λ adalah panjang gelombang Cu-Kα (0,154 nm), β adalah *full width-half maximum* (FWHM) dalam radian dan θ adalah sudut difraksi.

E. Performansi DSSC

Untuk mengukur nilai arus dalam panjang gelombang tertentu, digunakanlah uji IPCE. Hasilnya adalah mengetahui rentang serapan cahaya pada panjang gelombang tertentu dalam bentuk grafik. Berikut adalah persamaan untuk hasil uji IPCE :

$$IPCE [\%] = \frac{1240 [eV \cdot nm] \times J_{sc} [\mu A cm^{-2}]}{\lambda [nm] \times P_{cahaya} [\mu W cm^{-2}]} \quad (3)$$

dimana 1240 (eV nm) adalah angka konversi cahaya ke arus, J_{sc} adalah rapat arus ($\mu A cm^{-2}$), λ adalah panjang gelombang monokromator (nm), dan P_{cahaya} adalah daya terukur setiap panjang gelombang ($\mu W cm^{-2}$).

Uji kurva I-V untuk DSSC tunggal dan rangkaian digunakan untuk mengetahui efisiensinya. Berikut adalah persamaannya [5].

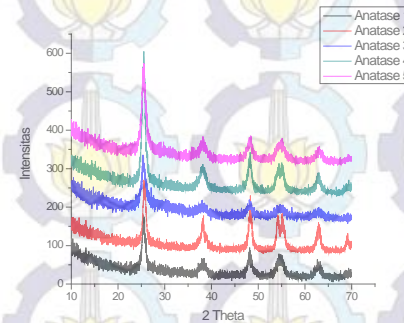
$$\eta = \frac{V_{OC} \cdot J_{sc} \cdot FF}{P_{cahaya}} \quad (4)$$

V_{OC} adalah nilai tegangan saat arus bernilai nol, J_{sc} adalah nilai arus saat tegangan bernilai nol, dan FF adalah *fill factor*. P_{cahaya} adalah daya cahaya matahari terukur waktu pengukuran dengan *luxmeter* maupun *pyranometer*.

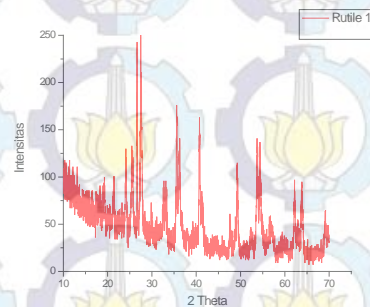
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian XRD TiO₂

Gambar 2 merupakan hasil pengujian XRD dari serbuk TiO₂ fase anatase dan gambar 3 fase rutile.



Gambar 2. Hasil Uji XRD TiO₂ anatase

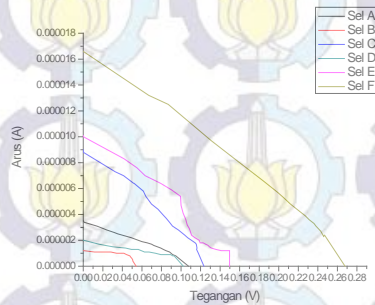


Gambar 3. Hasil Uji XRD TiO₂ rutile

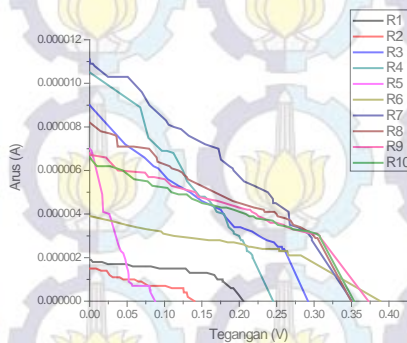
Untuk mengetahui ukuran partikel, dapat menggunakan persamaan Scherrer [6]. Ukuran partikel TiO₂ anatase berturut-turut 24,06 nm, 10,028 nm, 10,94 nm, 17,19 nm, dan 13,37 nm. Sedangkan pada TiO₂ rutile sebesar 161,13 nm.

B. Performansi DSSC

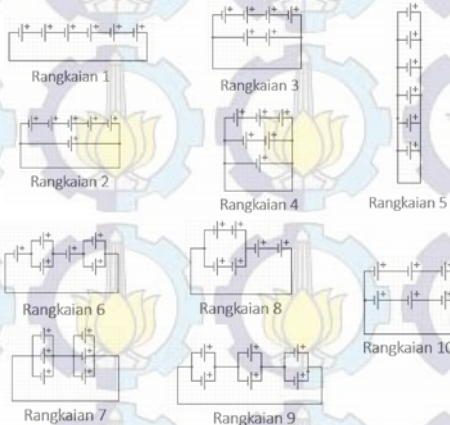
Performansi DSSC tunggal dan rangkaian di dapatkan dengan cara uji kurva I-V dibawah sinar matahari langsung. Gambar 5 dan gambar 6 merupakan kurva I-V dari DSSC tunggal dan rangkaian 1-10. Gambar 7 merupakan konfigurasi rangkaian yang digunakan.



Gambar 5. Kurva I-V DSSC tunggal



Gambar 6. Kurva I-V DSSC rangkaian 1-10



Gambar 7. Konfigurasi rangkaian 1-10

Tabel 1
Hasil Pengukuran dan Perhitungan Melalui Persamaan (4)

DSSC	FF	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (mV)	$\eta_{luxmeter}$ (%)
Sel Tunggal	Sel A	0.315	107.7	0.000753
	Sel B	0.639	54.1	0.000263144
	Sel C	0.321	123.4	0.002273785
	Sel D	0.393	102.4	0.00049889
	Sel E	0.355	149.7	0.003310706
	Sel F	0.287	0.0664	267.8

DSSC	FF	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (mV)	$\eta_{luxmeter}$ (%)	
Rangkaian	Rang. 1	0.521	0.00076	205.5	0.00127
	Rang. 2	0.359	0.0006	140.1	0.00047
	Rang. 3	0.280	0.0036	291.9	0.00460
	Rang. 4	0.296	0.0042	245.2	0.00477
	Rang. 5	0.173	0.0028	87.4	0.00067
	Rang. 6	0.401	0.00156	388.6	0.00385
	Rang. 7	0.310	0.00444	350.6	0.00203
	Rang. 8	0.353	0.00328	349.6	0.00639
	Rang. 9	0.372	0.00272	372.7	0.00625
	Rang. 10	0.402	0.00264	353.6	0.00623

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa efisiensi terbesar dari sel tunggal yang dihasilkan pada penelitian ini adalah 0.00786%. Nilai efisiensi tersebut didasarkan pada metode pengukuran menggunakan hambatan variabel dan P_{cahaya} diukur dari *luxmeter*. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, Wahyuono (2013) [2] $\eta = 0,02196\%$ dan Agustini (2013) [3] $\eta = 0,0222\%$, maka nilai efisiensi pada penelitian ini paling kecil ($0,0222\% > 0,02196\% > 0.00786\%$).

Untuk efisiensi DSSC yang dirangkai seri dan paralel, rangkaian yang memiliki efisiensi tiga terendah adalah rangkaian 5 (0.00067%), rangkaian 2 (0.00047%), dan rangkaian 1 (0.00127%). Efisiensi yang rendah tersebut disebabkan rangkaian DSSC tidak simetris untuk rangkaian 2, dan rangkaian murni seri dan paralel untuk rangkaian 1 dan 5. Sama dengan penelitian [7], efisiensi terkecil didapat pada rangkaian 2 dimana rangkaian yang tidak simetris memiliki efisiensi paling kecil dibanding rangkaian 1,3, dan 5. Dan rangkaian murni seri atau paralel tidak memberikan efisiensi lebih besar dibanding rangkaian kombinasi seri-paralel.

Efisiensi tiga terbesar dari DSSC yang dirangkai seri dan paralel yang dihasilkan dari penelitian ini adalah rangkaian 8 (0.00639%), 9 (0.00625%), dan 10 (0.00623%). Ketiga rangkaian ini merupakan rangkaian kombinasi seri-paralel yang simetris untuk rangkaian 9 dan 10.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisa data yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa fraksi volume anatase/rutile 90%:10% yang digunakan sebagai *dye sensitized solar cell* (DSSC) tunggal menghasilkan efisiensi sebesar 0.00786%. Untuk efisiensi DSSC yang dirangkai seri dan paralel, rangkaian yang memiliki efisiensi tiga terendah adalah rangkaian 5 (0.00067%), rangkaian 2 (0.00047%), dan rangkaian 1 (0.00127%). Efisiensi tiga terbesar dari DSSC yang dirangkai seri dan paralel yang dihasilkan dari penelitian ini adalah rangkaian 8 (0.00639%), 9 (0.00625%), dan 10 (0.00623%). Pada penelitian ini, tidak terjadi tren peningkatan tegangan dan arus pada kurva I-V pemodelan untuk penambahan seri dan paralel. Dikarenakan terjadi rugi-rugi Ohmik, yaitu rugi-rugi arus dan tegangan ketika satu sel dengan karakteristik hambatan tertentu dihubungkan secara seri dan paralel [8]. Penyebab lain yang diketahui untuk meningkatkan rugi Ohmik yaitu nilai I_{sc} yang tinggi, yang juga mempunyai pengaruh negatif terhadap *fill factor* [8].

Berbagai cara yang diketahui untuk menghilangkan pengaruh rugi-rugi Ohmik adalah meningkatkan konduktivitas pada larutan elektrolit [9], menggunakan TiO_2 compact layer sebagai pengganti metode *doctor blade* [10], menggunakan jarring logam pada permukaan konduktif elektroda kerja seperti pada sel surya konvensional [11], dan menghindari *multiple heating step* yang menyebabkan naiknya nilai *sheet resistance* pada media kaca FTO [12].

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Tim MOLINA ITS, Laboratorium XRD Jurusan Material dan Metalurgi ITS, Laboratorium Rekayasa Fotonika dan Laboratorium Rekayasa Bahan Jurusan Teknik Fisika.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lee, J.K., Yang, M., 2011. "Progress in Light Harvesting and Charge Injection of Dye Sensitized Solar Cells". *Materials Science and Engineering*, vol B 176, hal 1142– 1160
- [2] Wahyuno, R.A., 2013. "Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) Fabrication with TiO_2 and ZnO Nanoparticle for High Conversion Efficiency". Master Thesis, ITS
- [3] Agustini, S., 2013. "Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell Berdasarkan Fraksi Volume TiO_2 Anatase-Rutile Dengan *Garcinia mangostana* Dan *Rhoeo spatachea* sebagai Dye Fotozensitizer". Tugas Akhir, ITS
- [4] Lestari, B., Sawitri D., Risanti D.D., 2013. "Optimalisasi Fraksi Volume TiO_2 Terhadap Efisiensi DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell)". Tugas Akhir, ITS
- [5] Halme, Janne., 2002. "Dye-sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells". Technical review and Preliminary Tests. Master Thesis, Helsinki University of Technology
- [6] Cullity, B.D., 1956. "Elements Of X-Ray Diffraction". Indiana, University of Notre Dame
- [7] Ramadhani, K., Akhlus, S., 2009. "Pengaruh Hubungan Seri-Paralel pada Rangkaian Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT) terhadap Efisiensi Konversi Energi Listrik". Prosiding Tugas Akhir Semester Genap, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [8] Jae Lee, W., Ramasamy, E., Lee, D.Y., Song, J., S., 2007. "Dye-Sensitized Solar Cells: Scale Up and Current-Voltage Characterization." Elsevier Solar Energy Material and Solar Cell
- [9] Holmberg, S., Prebikovsky, A., Kulinsky, L., Madou, M., 2014. "3-D Micro and Nano Technologies for Improvements in Electrochemical Power Devices." Review. *Micromachines*
- [10] Yu, H., Zhang, S., Zhao, H., Will, G., Liu, P., 2009. "An Efficient and Low-Cost TiO_2 Compact Layer for Performance Improvement of Dye-Sensitized Solar Cells." *Queensland University of Technology*
- [11] Ramasamy, E., Jae Lee, W., Lee, D.Y., Song, J., S., 2007. "Portable, Parallel Grid Dye-Sensitized Solar Cell Module Prepared by Screen Printing." Elsevier *Journal of Power Sources*
- [12] Biancardo, M., 2006. "Incorporation of Gel Electrolyte in Dye-Sensitized Solar Cells could Widen Application." *SPIE Newsroom*